Lecciones Aprendidas

De los participantes de Natural Gas STAR

REDUCCIÓN DE EMISIONES DE METANO DE LOS SISTEMAS DE EMPAQUETADURA DEL VASTAGO DE COMPRESOR (Reducing Methane Emissions from Compressor Rod Packing Systems)

Resumen gerencial

En los Estados Unidos existen más de 29,000 compresores de pistón que funcionan en la industria del gas natural, cada uno con un promedio de cuatro cilindros, lo cual representa aproximadamente 160,000 sistemas de empaquetaduras de vástagos de pistón en servicio. Estos sistemas contribuyen con más de 43.8 Bcf al año a las emisiones de metano a la atmósfera, lo que representa una de las más grandes fuentes de emisiones en las estaciones de compresores de gas natural.

Todos los sistemas de empaquetaduras tienen fugas bajo condiciones normales, la cantidad depende de la presión del cilindro, los accesorios y la alineación de las piezas de la empaquetadura, y la cantidad de desgaste de los anillos y el eje del vastago. Un sistema nuevo de empaquetadura, correctamente alineado y ajustado, puede perder aproximadamente 11 a 12 pies cúbicos estándar por hora (scfh). Sin embargo, conforme el sistema envejece, la tasa de fugas aumentará por el desgaste de los anillos de la empaquetadura y el vástago del pistón. Un participante de Natural Gas STAR informó emisiones medidas de 900 scfh en una de los vástagos de compresor.

Al usar los objetivos financieros específicos de la compañía y los datos de vigilancia, los participantes pueden determinar los niveles de emisión a los cuales es más económico reemplazar los anillos y los vástagos. Los beneficios de calcular y utilizar este “umbral económico de reemplazo” incluye la reducción de las emisiones de metano y los ahorros de costo. Usando este enfoque, un participante de Natural Gas STAR logra ahorros de más de $100,000 anuales. El enfoque de umbral económico de reemplazo también brinda beneficios de funcionamiento, incluyendo una vida útil más larga del equipo existente, mejoría en la eficiencia del funcionamiento y ahorros a largo plazo.

Fuente de fugas	Volumen anual de pérdida de gas (Mcf)	Método para reducir la pérdida de gas	Valor del gas ahorrado ($/año)	Costo de la ejecución ($/año)	Período de recuperación de la inversión
Empaquetado del vastago del compresor	865[1]	Reemplazo económico de los anillos y los vástagos	2,595[2]	400[3]	2 meses

[1] Pipeline Research Committee International (1999).
[2] Valor del gas a $3.00 por Mcf.
[3] $1,200 de costo del reemplazo de los anillos cada tres años en lugar de cada cuatro (promedio de la industria).

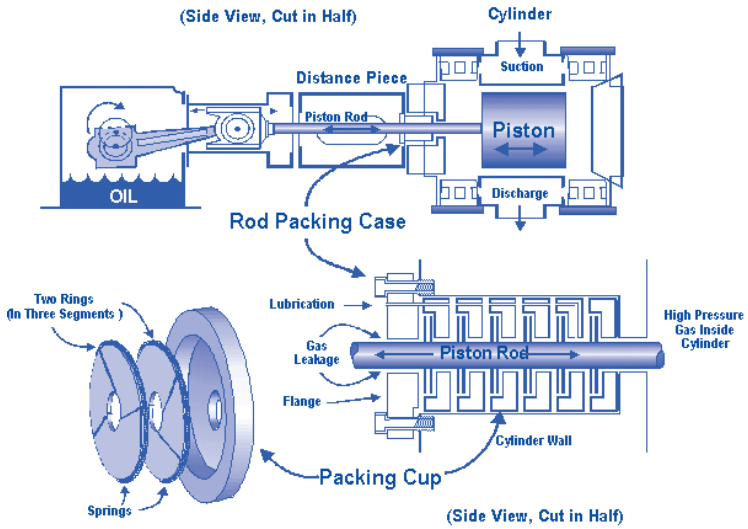
Esta publicación es una de la serie de resúmenes de Lecciones Aprendidas preparados por EPA en colaboración con la industria de gas natural que tratan acerca de las aplicaciones superiores del Programa de Mejores Prácticas Administrativas (BMP, por sus siglas en inglés) de Natural Gas STAR y Oportunidades Identificadas por los participantes (PRO, por sus siglas en inglés).

Antecedentes tecnológicos

Los compresores de pistón en la industria de gas natural tienen fugas de metano durante el funcionamiento normal. Las áreas de alta frecuencia de fugas incluyen las bridas, las válvulas y los accesorios ubicados en los compresores. Sin embargo, el volumen más alto de pérdida de gas está relacionado con los sistemas de empaquetadura de los vástagos de los émbolos.

Los sistemas de empaquetadura se usan para mantener un sello hermético alrededor del vástago de émbolo, lo que evita que el gas comprimido a alta presión en el cilindro del compresor tenga fugas, a la vez que permite que el vástago se mueva con libertad. El Cuadro 1 muestra un sistema típico de empaquetadura de vástago de compresor.

Cuadro 1: Sistema típico de empaquetadura del vastago del compresor



La empaquetadura del vastago del compresor consiste en una serie de anillos flexibles que se ajustan alrededor del eje para crear un sello contra fugas. Los anillos de empaquetadura están lubricados con aceite circulante para reducir el desgaste, ayudar a sellar la unidad y extraer el calor. Otros métodos de enfriamiento incluyen enfriamiento por aire, chaquetas de agua y refrigerantes circulantes dentro de una caja de empaquetadura. Los anillos de empaquetadura se mantienen en su lugar con un juego de copas de empaque para cada par de anillos, y se mantienen herméticamente contra el eje mediante un resorte alrededor. El número de copas y anillos variará dependiendo de las presiones de las cámaras de compresión. Un "empaque de nariz" en el extremo de la caja de empaquetado evita fugas alrededor de las copas de empaque.

Bajo las mejores condiciones, los sistemas nuevos de empaquetadura que se instalan correctamente en un eje recto, bien alineado puede preverse que tendrán fugas mínimas de 11.5 scfh. Las tasas más altas de fugas son consecuencia del ajuste, la alineación de las piezas de la empaquetadura y el desgaste. Las fugas generalmente ocurren en cuatro áreas:

- ★ Alrededor de la caja de empaquetadura a través del empaque de nariz.
- ★ Entre las copas de empaque, las cuales generalmente están montadas metal contra metal contra cada una.
- ★ Alrededor de los anillos debido al movimiento leve en la ranura de la copa cuando se mueve el vástago hacia atrás y hacia delante.
- ★ Entre los anillos y el eje.

Los gases que se fugan se ventilan a la atmósfera a través de ventilas de empaquetadura en las bridas. Las fugas pueden reducirse a través de una vigilancia correcta y un programa económico para reemplazar los anillos de empaquetadura y los vástagos del pistón. Están surgiendo materiales de los anillos nuevos y los diseños nuevos de las cajas de empaquetadura que deberán reducir las emisiones en el futuro.

Beneficios económicos y para el medio ambiente

La vigilancia y el reemplazo de los sistemas de empaquetadura de vástagos de compresor de manera regular pueden reducir grandemente las emisiones a la atmósfera y ahorrar dinero. Por ejemplo, los anillos convencionales de empaquetadura de metal de bronce se desgastan y necesitan reemplazarse cada tres a cinco años. Sin embargo, conforme la empaquetadura se deteriora, la tasa de fugas puede aumentar hasta un nivel en el cual puede ser económicamente justificable reemplazar los anillos de empaque con más frecuencia. Además, el reemplazo más frecuente podría en realidad extender la vida del vastago del compresor. Los participantes que iniciaron un programa de vigilancia y el reemplazo económico pudieron obtener varias ventajas:

- ★ Emisiones reducidas de metano.
- ★ Ahorros de gas de tasas menores de fugas.
- ★ Servicio extendido de la vida útil de los vástagos del compresor.

Proceso de decisión

Las compañías pueden determinar un programa de reemplazo económico siguiendo cinco pasos sencillos.

Paso 1: Vigilar y registrar las fugas de la empaquetadura básica y el desgaste del vastago del pistón. Estableciendo las tasas base de fugas y vigilando el desgaste del vastago del pistón permite a los participantes de Natural Gas STAR vigilar los aumentos de fugas y evaluar los aspectos económicos del reemplazo de los anillos de empaque y los vástagos de pistón.

El puerto de ventilación de la brida de la caja de empaquetadura ofrece un medio para que las fugas de gas escapen a la atmósfera. Sin embargo, el gas también puede fluir a lo largo del vastago y/o del empaque en el extremo de la caja de empaquetadura, así desviándose evitando la ventila de la copa y entrando al espaciador. Por lo tanto, siempre que sea posible, las mediciones deben abarcar las emisiones de ambas partes, la ventila de la copa y al espaciador. Algunos sistemas ventilan la copa de empaque al espaciador, mientras que otras tienen ventilas separadas.

Las fugas de gas pueden medirse con un dispositivo de medición manual o uno instalado. Antes de iniciar las mediciones, debe realizarse una verificación del sistema de ventilación de la empaquetadura. El no considerar las emisiones que escapan al espaciador puede causar que se subestimen las emisiones relacionadas con la empaquetadura hasta un 40 por ciento, lo cual puede afectar los aspectos económicos del proceso de decisión.

Cinco pasos para el reemplazo económico de la empaquetadura y el vástago del pistón:

1. Vigilar y registrar las fugas de la empaquetadura básica y el desgaste del vastago del pistón;
2. Comparar la tasa actual de fugas con la tasa inicial de fugas para determinar la reducción de fugas esperada;
3. Evaluar los costos de los reemplazos;
4. Determinar el umbral económico de reemplazo; y
5. Reemplazar la empaquetadura y las vástagos cuando sea económico hacerlo.

Es importante que se tomen medidas de inmediato después de instalar sellos nuevos (o nuevos vástagos y sellos). Esta medición se convierte en la línea base para la nueva empaquetadura y puede servir como la línea base predeterminada adecuada para otros cilindros y compresores de tipo, tamaño, presión y edad similar de vástagos. Después de instalar los anillos, los participantes deben vigilary registrar regularmente las tasas de fuga y las condiciones de operación relacionadas (presión, lubricación, temperaturas) durante la vida entera de los anillos de empaquetadura, generalmente de manera mensual o trimestral.

Los vástagos pueden vigilarse de manera regular durante los reemplazos de los anillos documentando las dimensiones del eje y la aspereza de la superficie en donde tocan el vástago los anillos de empaquetadura. Los vástagos de pistón se desgastan más lentamente que los anillos de empaquetadura y tienen una vida de 10 años aproximadamente. Los vástagos se “deforman” o ahúsan cuando están mal alineadas, lo cual afecta el ajuste de los anillos de empaquetadura contra el eje (y por lo tanto lo apretado del sello) y la tasa de desgaste del anillo. Un eje deformado no solamente sella mal, permitiendo más fugas, sino que también causa el desgaste desigual de los sellos, de ese modo acortando la vida útil del vastago del pistón y el sello de la empaquetadura. Una fuga que se atribuya al desgaste de un vástago se determina mediante el cambio en la tasa de línea base de fugas después de cada reemplazo sucesivo de anillos (suponiendo las mismas condiciones de operación y tipo de anillo). Este aumento en las fugas en comparación con la línea base pueden usarse para establecer el umbral de economía para el reemplazo del vastago del pistón (vea el Paso 4).

Paso 2: Comparar la tasa actual de fugas con la tasa inicial de fugas para determinar la reducción de fugas esperada. Usando los datos de vigilancia obtenidos en el Paso 1, la medición de las emisiones de línea base deben compararse con la tasa actual de fuga para determinar si la tasa actual señala la necesidad del reemplazo de la empaquetadura o del vastago. El Cuadro 2 demuestra cómo puede hacerse una comparación.

Cuadro 2: Comparación de las tasas actuales de fuga contra las iniciales

Dada la siguiente información:

IL = Tasa inicial de fuga en el último reemplazo del vastago del anillo de empaquetadura

CL = Tasa actual de fuga

LRE = Reducción esperada de la fuga

Calcule:

LRE = CL - IL

Por ejemplo, si la tasa de fuga de un anillo de empaquetadura actualmente mide 100 pies cúbicos estándar por hora (scfh), y el mismo componente se midió a 11.5 scfh después del último reemplazo, entonces la reducción de la fuga puede esperarse que será:

LRE = 100 scfh - 11.5 scfh

LRE = 88.5 scfh

Para tener un análisis preciso, los participantes deben calcular la "reducción de fugas esperada" (LRE), la cual es el ahorro que ocurrirá con la instalación del equipo nuevo separadamente para los sellos de empaquetadura y los vástagos de pistón. Cuando se determine la LRE para la instalación solamente de anillos nuevos, suponga que todo el aumento de fugas desde el último reemplazo de anillo se atribuye al desgaste del anillo. Cuando se determine la LRE para reemplazar el vástago y los anillos del pistón (note que los anillos nuevos siempre se instalan con un vástago nueva), use la medición inicial de fuga inmediatamente después del último reemplazo de vástago del compresor. En donde no haya datos históricos disponibles sobre los compresores individuales, pueden usarse los datos de otros compresores con condiciones similares de trabajo para establecer los valores de la línea base (fuga inicial).

Paso 3: Evaluar los costos de los reemplazos. El costo de reemplazar los anillos de empaquetadura y los vástagos del pistón varían entre compresores. Para los reemplazos del anillo de empaquetadura, las variables incluyen un número de cilindros de compresores y el tipo de anillo de reemplazo. Un participante de Natural Gas STAR informó que el costo de un juego de anillos de copa de 8 a 10, de Teflón típico o a base de molibdeno para un vástago de tres pulgadas es de $100 a $125 por copa, o aproximadamente $800 a $1,250 en total. Otra fuente mencionó que un juego de anillos puede variar entre $500 y $800, o $1,500 a $2,500 si las copas y las cajas se incluyen. Los factores que afectan los costos de equipo para el reemplazo de vástagos incluyen las dimensiones y el tipo de vástagos. Los cálculos del costo de los vástagos pueden fluctuar de $1,800 a $3,500. Los recubrimientos especiales, como la cerámica, el carburo de tungsteno o el cromo, pueden aumentar el costo $1,000 o más, el costo de algunos vástagos puede llegar a ser tan alto como $9,000 a $10,000.

El costo de instalación también varía, dependiendo de la ubicación del lugar y las dificultades que surjan durante el reemplazo. Ambos participantes y fabricantes calculan que el costo de instalación es aproximadamente igual al costo del equipo. Un participante gastó un promedio de $1,050 por juego de anillos de empaquetadura en compra e instalación. Los participantes han descubierto que los costos de vigilancia y medición de fugas son insignificantes por paquete en relación al costo de mano de obra para instalar los anillos o los vástagos.

Paso 4: Determinar el umbral económico de reemplazo. Con la información obtenida en los Pasos 1 al 3, los participantes pueden preparar un "umbral económico de reemplazo" que defina el punto específico en el cual es económico reemplazar los anillos y los vástagos. Los participantes han identificado varios métodos para calcular este umbral, confiando en el criterio de evaluación de inversión de la compañía y las características específicas del lugar.

Un enfoque sencillo es usar los principios de flujo de efectivo descontados para calcular el umbral económico de reemplazo. Los participantes pueden calcular su propio umbral económico de reemplazo para tanto los sellos de empaquetadura como los vástagos usando la ecuación siguiente:

$$\text{Umbral económico de reemplazo (scfh)} = \frac{CR * DF * 1{,}000}{(H * GP)}$$

En donde:

CR = Costo de reemplazo ($)
DF = Factor de descuento (%)
H = Horas de operación del compresor al año
GP = Precio del gas ($/Mcf)

El factor de descuento es el término usado para la recuperación del capital a partir de ingresos anuales iguales y se calcula con la fórmula siguiente:

$$DF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

En donde i es igual a la tasa de descuento o la mínima tasa de rendimiento aceptable expresada como un decimal y n es igual al plazo seleccionado de recuperación de la inversión. Usando esta fórmula, una tasa de descuento de 10 por ciento (i = 0.10) y un año de plazo de recuperación de la inversión (n = 1) rinde un factor de descuento de 1.10; para un plazo de dos años de recuperación de la inversión (n = 2), el factor de descuento es 0.576, etc.

El Cuadro 3 presenta un ejemplo del plazo de recuperación de la inversión descontada. Esta tabla se formó para mostrar la LRE necesaria para recuperar la inversión de un nuevo juego de empaquetadura de anillos en un año, dos años y así sucesivamente. El Cuadro 3 muestra que el costo de $1,200 de reemplazo de los anillos de empaquetadura puede recuperarse en un año con una reducción de fugas de 55 scfh, en dos años con una reducción de fugas de 29 scfh; etc. (con ahorros de fugas futuras descontados al 10 por ciento). Por lo tanto, si el criterio interno de inversión del participante es un plazo de recuperación de la inversión de dos años, el participante puede establecer un umbral económico de reemplazo para el reemplazo de los anillos a 29 scfh. En otras palabras, cuando la LRE del reemplazo del anillo llegue a 29 scfh, el participante deberá reemplazar la empaquetadura del anillo.

Cuadro 3: Umbral económico de reemplazo para los anillos de empaquetadura	
Reducción de fugas esperada (scfh)	**Plazo de recuperación de la inversión[1] (años)**
55	1
29	2
20	3
16	4
13	5

[1]Supone un costo de reemplazo de los anillos de empaquetadura de $1,200, $3.00/Mcf de gas y 8,000 horas/año de operación.

De manera similar a los anillos, el umbral económico de reemplazo puede determinarse para el reemplazo de los vástagos estableciendo la reducción de fugas que se necesita para justificar la inversión de un nuevo ensamble de vástago. Siga los mismos pasos anteriores, pero sustituya el costo de capital del vastago por el costo de reemplazo (CR) para determinar el umbral económico de reemplazo.

Después de determinar el umbral económico de reemplazo, los participantes deben determinar la cantidad de emisiones de metano que se atribuyan al reemplazo. Las mediciones de las fugas actuales (CL) no distinguen entre contribución de anillos desgastados y el desgaste de los vástagos. Sin embargo, con el tiempo, las mediciones de fuga inicial (IL) mostrarán un aumento gradual en la tasa de fuga de línea base, indicando el desgaste del vastago. Los participantes deben medir y vigilar el cambio de IL para determinar la cantidad de emisiones que se atribuyan al envejecimiento del vastago. Los participantes necesitan establecer una línea base mediante la cual comparar las fugas relacionadas con el vástago del pistón. Esto puede lograrse tomando mediciones cuando el vástago está recién instalada o comparando las mediciones de instalaciones similares que tengan vástagos y empaquetadura nuevas. Una vez que se establece esta línea base, los participantes pueden realizar el flujo de efectivo descontado para determinar la cantidad de fugas relacionadas con el vástago que señale la necesidad del reemplazo.

El Cuadro 4 usa el mismo enfoque que el del Cuadro 3 para ofrecer los umbrales económicos de reemplazo de LRE para el reemplazo de los anillos y los vástagos. Este ejemplo se basa en un costo de $8,200 para reemplazar ambos, el vástago y los anillos de empaquetadura. La tabla muestra que las compañías que deseen un plazo de recuperación de la inversión de un año, requieren una reducción de fugas esperada (LRE) de 376 scfh, mientras que las compañías que estén satisfechas con un plazo de tres años deberán reemplazar los vástagos y los sellos cuando la LRE sea de 137 scfh (con ahorros futuros descontados al 10 por ciento).

Cuadro 4: Umbral económico de reemplazo para los vástagos y los anillos	
Reducción de fugas esperada (scfh)	**Plazo de recuperación de la inversión[1] (años)**
376	1
197	2
137	3
108	4
90	5

[1]Supone un costo de reemplazo de los anillos de empaquetadura de $1,200, un costo de reemplazo de vástagos de $7,000, $3.00/Mcf de gas y 8,000 horas/año de operación.

Una nota de precaución: un vástago mal alineada o unos anillos mal ajustados pueden causar una medición más alta de fuga, y por lo tanto una LRE más alta, eso puede no indicar la necesidad de reemplazar el vástago, sino una necesidad de reajustar los anillos o realinear el vástago. La vigilancia de las dimensiones del vastago (por ejemplo, afilado, deformación, rayaduras y aspereza de la superficie) es necesaria para determinar si el aumento de la fuga inicial (IL) sobre la línea base es en realidad atribuible al desgaste general del vastago.

Paso 5: Reemplazar la empaquetadura y los vástagos cuando sea económico hacerlo. La vigilancia de las emisiones y el reemplazo de los vástagos desgastadas y los anillos de empaquetadura al entrar al umbral económico de reemplazo dará por resultado una reducción inmediata de las emisiones y los costos de combustible del compresor. Los participantes deben comparar los datos de la estación del compresor con los umbrales de reemplazo. Los participantes deben reemplazar los anillos de empaquetadura y los vástagos cuando la reducción esperada de fugas (LRE) sean iguales o superiores a los umbrales económicos de reemplazo. También se exhorta a los participantes a que seleccionen los umbrales económicos de reemplazo que maximizan la reducción de metano.

Experiencia de un participante

Consumers Energy reemplazó los anillos desgastados de empaquetadura del vastago del compresor en 15 unidades de compresores con ahorros totales calculados de la reducción de las fugas de gas de $21,000 (basado en las reducciones de fuga de 7,000 Mcf al año, y suponiendo un precio de gas de $3 por Mcf). El costo de reemplazo de todos los anillos de empaquetadura, incluyendo los materiales y la mano de obra, fue $17,000, lo que resulta en un período de recuperación de inversión menor a un año.

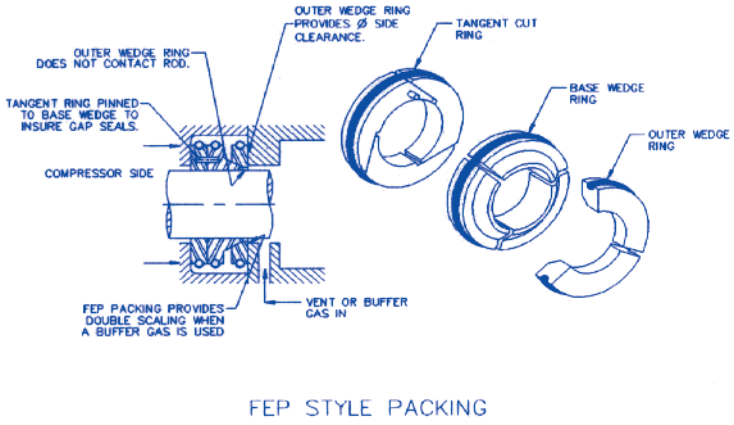
Opciones adicionales

Los participantes del Programa Natural Gas STAR no han logrado llegar a un consenso sobre la reducción estándar de emisiones que pueda lograrse al cambiar la empaquetadura del vastagos de compresores. Se mencionan muchas variables que afectan los ahorros potenciales, incluyendo la presión del cilindro, el ajuste y la alineación de las piezas de empaquetadura y la cantidad de desgaste de los anillos y el eje del vastago, así como el criterio interno de decisiones de la compañía. Sin embargo, los participantes están de acuerdo con que la identificación del umbral de reemplazo para reemplazar los anillos de empaquetadura y los vástagos de pistón son métodos prácticos para reducir las emisiones de metano de los compresores de pistón.

Los materiales nuevos pueden mejorar la vida útil y el desempeño de cierto equipo y proporcionar a los participantes ahorros adicionales a través de la reducción de fugas y los costos de reparación y reemplazo.

- ★ **Opciones para los anillos.** El teflón impregnado de carbono está reemplazando gradualmente los anillos metálicos de bronce. Un vendedor insiste que el precio es casi el mismo, aunque se espera que el teflón dure aproximadamente un año más que los anillos convencionales de bronce. Sin embargo, otros factores, incluyendo la instalación, el enfriamiento y la lubricación adecuados, pueden tener un papel más importante en la vida de servicio de un anillo.
- ★ **Vástagos actualizadas de pistón.** los vástagos nuevas y existentes de compresor recubiertas con carburo de tungsteno han comprobado aumentar la vida útil de los vástagos reduciendo el desgaste, así como haciéndolas más eficaces para las instalaciones de “sello estático” (vea el estudio de las Lecciones Aprendidas, *“Reducing Emissions When Taking Compressors Off-Line” [Reducción de emisiones al sacar de servicio los compresores])* El recubrimiento de cada vástago de pistón con carburo de tungsteno costará $1,000 a $2,000 adicionales. El recubrimiento de cromo también se usa para reducir el desgaste.
- ★ **Empaquetadura de vástago de tres anillos.** El sistema de empaquetadura de vástagos de tres anillos mostrado en el Cuadro 5 se está haciendo más popular. Los anillos generalmente se instalan en una de las dos copas finales. El beneficio principal de este arreglo es que este diseño puede generalmente instalarse sin ningún reemplazo ni modificación de la copa de la caja de empaquetadura.

Cuadro 5: Ensamble de la empaquetadura del vastago de emisiones escondidas de tres anillos



Fuente: Compressor Engineering Corporation

Lecciones aprendidas

Los participantes han descubierto que el proporcionar directrices simples al personal de una estación de compresores para el reemplazo económico de los vástagos y la empaquetadura de vástagos de compresores de pistón puede reducir grandemente las emisiones de metano. Estos ahorros de metano recuperan la inversión del costo de reemplazos más frecuentes. Las principales lecciones aprendidas son:

- ★ Preparar un sistema para la medición y la vigilancia regulares de las fugas de las cajas de empaquetadura de los vástagos de los pistones. La vigilancia regular de la lubricación y el enfriamiento puede ayudar a reducir el desgaste en los anillos de empaquetadura. La mala conductividad de calor a temperaturas de operación muy altas también puede ser un factor importante para el deterioro de los anillos.
- ★ Establecer las tasas de línea base (IL) de fuga inicial para vástagos nuevas y anillos de empaquetadura nueva, por categorías de operación y tipos y tamaños de compresión.
- ★ Compartir los datos de línea base de la tasa inicial de fuga con otras estaciones para ofrecer datos sustitutos en donde los datos específicos pueden no estar disponibles en todas las estaciones.
- ★ Establecer un umbral de emisiones específicas de la compañía en cada compresor para servir como herramienta útil para saber cuándo reemplazar los anillos de empaquetadura y los vástagos de pistón de manera económica.
- ★ Actualizar los vástagos de pistón cuando se justifique por economía. Las actualizaciones causarán menos emisiones durante la vida útil del vastago.
- ★ Hay disponibles nuevos materiales, tipos y sistemas de empaquetadura completamente nuevos de anillos de empaquetadura y se están haciendo más comunes en donde los valores del producto o los factores ambientales compensan los costos más altos.

★ Para obtener información adicional, consulte el estudio de Lecciones Aprendidas titulado Reducción de emisiones al sacar de servicio los compresores (Reducing Emissions When Taking Compressors Off-Line).

★ Cuando se cambien los anillos de empaquetadura y los vástagos, registre la reducción de emisiones de metano en los informes anuales del Programa Natural Gas STAR Program.

Nota: La información de costo provista en este documento se basa en cálculos para Estados Unidos. Los costos de equipo, mano de obra y el valor del gas variarán dependiendo del lugar, y podrían ser mayores o menores que en los Estados Unidos. La información sobre costo presentada en este documento solamente debe usarse como guía al determinar si las tecnologías y las prácticas son convenientes económicamente para sus operaciones.

Referencias

Alastair J. Campbell, Bently Nevada Corporation, Houston, Texas. *Optical Alignment of Reciprocating Compressors.*

Borders, Robert, C. Lee Cook, Louisville, Kentucky, contacto personal.

France Compressor Products. *Mechanical Packing—Design and Theory of Operation, Bulletin 691*.

Miniot, Joe, Compressor Engineering Corporation, Houston, Texas, contacto personal.

Parr, Robert, TF Hudgins, Houston, Texas, contacto personal.

Pipeline & Gas Journal, "Compressor Shutdown Leakage," diciembre de 1985.

Pipeline Research Committee International, *Cost-Effective Leak Mitigation at Natural Gas Transmission Compressor Stations*, PR-246-9526, agosto de 1999.

Schroeder, David M., France Compressor Products, Newtown, Pennsylvania, contacto personal.

Tingley, Kevin, U.S. EPA Natural Gas STAR Program, contacto personal.

Agencia de Protección del Medio
Ambiente de los Estados Unidos
Aire y Radiación (6202J)
1200 Pennsylvania Ave., NW
Washington, DC 20460

EPA430-B-03-011S
Julio de 2003